

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-251687

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H01S 3/18

H01S 3/18

H01L 33/00

H01L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平10-54634

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月6日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 長谷川 義晃

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 石橋 明彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 辻村 歩

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 前田 弘 (外2名)

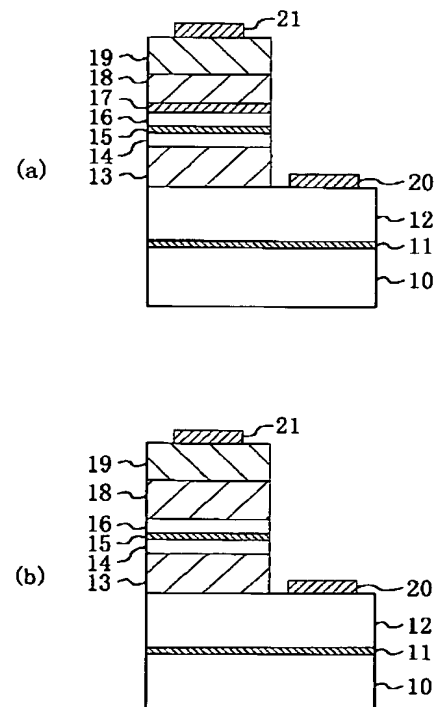
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体の製造方法及び半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系半導体に急峻なドーパントプロファイルを持つp-n接合を形成できるようにする。

【解決手段】 サファイアよりなる基板10の上には、n型Ga<sub>0.5</sub>Nよりなるn型コンタクト層12、n型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nよりなるn型クラッド層13、Ga<sub>0.5</sub>Nよりなる第1の光ガイド層14、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる量子井戸活性層15及びGa<sub>0.5</sub>Nよりなる第2の光ガイド層16が順次形成されている。第2の光ガイド層16の上には膜厚が20nmでp型ドーパントであるMgとn型ドーパントであるSiとがコドープされたAl<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nよりなる拡散抑制層17が形成され、該拡散抑制層17の上にはp型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nよりなるp型クラッド層18が形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 窒化ガリウム系半導体と格子整合されない基板上にアンドープ又は n 型窒化ガリウム系半導体よりなる第 1 の半導体層を形成する工程と、  
前記第 1 の半導体層の上に窒化ガリウム系半導体よりなる第 2 の半導体層を p 型ドーパントと n 型ドーパントとをコドープしながら形成する工程と、  
前記第 2 の半導体層の上に p 型窒化ガリウム系半導体よりなる第 3 の半導体層を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体の製造方法。

【請求項 2】 前記第 2 の半導体層の膜厚は 5 nm 以上且つ 500 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体の製造方法。

【請求項 3】 前記第 3 の半導体層の上にガリウム原子を吸収する第 4 の半導体層を形成する工程と、  
前記第 4 の半導体層に対して熱処理を行なう工程とをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体の製造方法。

【請求項 4】 窒化ガリウム系半導体と格子整合されない基板上に形成された n 型窒化ガリウム系半導体よりなる第 1 のクラッド層と、  
前記第 1 のクラッド層の上に形成された窒化ガリウム系半導体よりなる活性層と、  
前記活性層の上に形成され、p 型ドーパントと n 型ドーパントとがコドープされた窒化ガリウム系半導体よりなる拡散抑制層と、  
前記拡散抑制層の上に形成された p 型窒化ガリウム系半導体よりなる第 2 のクラッド層とを備えていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】 窒化ガリウム系半導体と格子整合されない基板上に形成された n 型窒化ガリウム系半導体よりなる第 1 のクラッド層と、  
前記第 1 のクラッド層の上に形成された窒化ガリウム系半導体よりなる活性層と、  
前記活性層の上に形成された n 型窒化ガリウム系半導体よりなる拡散抑制層と、  
前記拡散抑制層の上に形成された p 型窒化ガリウム系半導体よりなる第 2 のクラッド層とを備えていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 6】 前記拡散抑制層の膜厚は正孔の拡散長以下であることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の半導体装置。

【請求項 7】 前記拡散抑制層の膜厚は 5 nm 以上且つ 500 nm 以下であることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の半導体装置。

【請求項 8】 前記第 2 のクラッド層の上に形成された p 型窒化ガリウム系半導体よりなるコンタクト層と、  
前記コンタクト層の上面に形成され、ガリウム原子を吸収するガリウム吸収層とをさらに備えていることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の半導体装置。

【請求項 9】 p 型ドーパントはマグネシウムであり、n 型ドーパントはシリコンであることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の半導体装置。

【請求項 10】 前記拡散抑制層は  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (但し、 $0 < x < 1$  とする。) よりなることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、青紫色発光装置に用いる GaN 系 III-V 族化合物半導体の製造方法及びこの化合物半導体を用いた半導体装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、次世代のフルカラーディスプレイ用の光源として青紫色光を放射する窒化ガリウム (GaN) 系の III-V 族化合物半導体を用いた半導体発光装置の研究や開発が盛んに行なわれている。この半導体発光装置は、活性層が p-n 接合で挟まれてなり、該活性層に不純物が含まれないことが高品質化にとって重要となる。すなわち、p 型ドーパント及び n 型ドーパントの分布が急峻である必要がある。

【0003】また、GaN のようなワイドバンドギャップの化合物半導体は、p 型ドーパントをドーピングしても水素パッシベーションによって p 型ドーパントの活性化が抑制されるため、低抵抗な p 型半導体層を得られにくい。このため、低抵抗な p 型半導体層を得るためには、p 型ドーパントを高濃度にドーピングしてアニール処理等を施す必要がある。

【0004】以下、従来の p 型ドーパントの制御方法について説明する。GaN の p 型ドーパントには、一般にビスシクロペンタジエニルマグネシウム ( $\text{Cp}^*_2\text{Mg}$ ) が用いられている。しかしながら、結晶成長に有機金属気相成長 (MOVPE) 法を用いる場合には、成長時の結晶中に p 型ドーパントである Mg が所定の結晶以外にまで拡散するという問題がある ("Applied Physics Letters, Vol. 55 (1989) pp. 1017-1019")。また、この拡散は成長時に生じるだけでなく、成長後のアニール処理によっても生じる可能性がある。

【0005】さらに、Mg が MOVPE 成長装置の反応炉である石英リアクタに吸着するメモリ効果について検討した結果が "Journal of Crystal Growth, Vol. 145 (1994) pp. 214-218" に記載されている。この論文によれば、Mg がメモリ効果を有するため、短時間に多量の  $\text{Cp}^*_2\text{Mg}$  を反応炉に導入しても GaN 結晶内の Mg 分布が急峻とはならず、ドーピングに遅延が生じることが示されている。

【0006】一方、ガリウムヒ素 ( $\text{GaAs}$ ) 系で、格子整合できる基板上に成長する III-V 族化合物半導体の場合には、n 型ドーパントである Si を濃度が  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  程度に高濃度にドーピングすることにより Mg の拡散を抑制できることが知られている ("Journal of Cry

sial Growth, Vol.107 (1991) pp.779-783”。

【0007】また、特開平6-283825号公報によれば、Ga<sub>0.5</sub>N系半導体発光装置において、p型AlGa<sub>0.5</sub>Nよりなるp型クラッド層の一部をp型にドーピングしないアンドープ層とすることにより、p型クラッド層の直下に形成される活性層へのMgの拡散を抑制できることが示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、Ga<sub>0.5</sub>N系半導体はGa<sub>0.5</sub>Nと格子整合する基板が存在しないため、エピタキシャル基板を製造する際には、サファイア（結晶Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）や炭化ケイ素（SiC）等よりなる格子不整合基板を用いたヘテロエピタキシャル成長とならざるを得ない。これにより、GaAs系半導体では結晶中の欠陥密度が $10^3 \text{ cm}^{-2}$ 程度であるが、Ga<sub>0.5</sub>N系半導体では欠陥密度が $10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度と極めて多数の貫通転位が生じるため、p型ドーパントがこの貫通転位を通して容易に拡散し、急峻な不純物プロファイルを持つp-n接合を得られないという問題がある。

【0009】また、特開平6-283825号公報に開示された従来の半導体発光装置は、拡散抑制層としてGa<sub>0.5</sub>Nよりもバンドギャップが大きいAlGa<sub>0.5</sub>N層をアンドープとしているため、p-n接合部の直列抵抗が増加するという問題があり、直列抵抗の増加は、発光装置の動作中の発熱を促進し、発光装置の信頼性を著しく低下させる。

【0010】本発明は、前記従来の問題を解決し、窒化ガリウム系半導体に急峻なドーパントプロファイルを持つp-n接合を形成できるようにすることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するため、本発明は、窒化ガリウム系半導体において、p型半導体層とn型半導体層とよりなるp-n接合部におけるp型半導体層のn型半導体層側の領域にp型ドーパントとn型ドーパントとを同時にドーピング（コドーピング）してなる半導体層を設ける構成とする。

【0012】本発明に係る半導体の製造方法は、窒化ガリウム系半導体と格子整合されない基板上にアンドープ又はn型窒化ガリウム系半導体よりなる第1の半導体層を形成する工程と、第1の半導体層の上に窒化ガリウム系半導体よりなる第2の半導体層をp型ドーパントとn型ドーパントとをコドーピングしながら形成する工程と、第2の半導体層の上にp型窒化ガリウム系半導体よりなる第3の半導体層を形成する工程とを備えている。

【0013】本発明の半導体の製造方法によると、アンドープ又はn型窒化ガリウム系半導体よりなる第1の半導体層とp型窒化ガリウム系半導体よりなる第3の半導体層との間に、p型ドーパントとn型ドーパントとをコドーピングした第2の半導体層を形成するため、第2の半導

体層におけるp型ドーパントとn型ドーパントとがクーロン相互作用により電氣的に中性な原子対を形成するので、第3の半導体層に含まれるp型ドーパントが拡散しにくくなる。

【0014】本発明の半導体の製造方法において、第2の半導体層の膜厚が5nm以上且つ500nm以下であることが好ましい。

【0015】本発明の半導体の製造方法が、第3の半導体層の上にガリウム原子を吸収する第4の半導体層を形成する工程と、第4の半導体層に対して熱処理を行なう工程とをさらに備えていることが好ましい。

【0016】本発明に係る第1の半導体装置は、窒化ガリウム系半導体と格子整合されない基板上に形成されたn型窒化ガリウム系半導体よりなる第1のクラッド層と、第1のクラッド層の上に形成された窒化ガリウム系半導体よりなる活性層と、活性層の上に形成され、p型ドーパントとn型ドーパントとがコドーピングされた窒化ガリウム系半導体よりなる拡散抑制層と、拡散抑制層の上に形成されたp型窒化ガリウム系半導体よりなる第2のクラッド層とを備えている。

【0017】第1の半導体装置によると、活性層とp型窒化ガリウム系半導体よりなる第2のクラッド層との間に、p型ドーパントとn型ドーパントとがコドーピングされてなる拡散抑制層が形成されているため、該拡散抑制層におけるp型ドーパントとn型ドーパントとがクーロン相互作用により電氣的に中性な原子対を形成するので、第2のクラッド層に含まれるp型ドーパントが活性層側に拡散しにくくなる。

【0018】本発明に係る第2の半導体装置は、窒化ガリウム系半導体と格子整合されない基板上に形成されたn型窒化ガリウム系半導体よりなる第1のクラッド層と、第1のクラッド層の上に形成された窒化ガリウム系半導体よりなる活性層と、活性層の上に形成されたn型窒化ガリウム系半導体よりなる拡散抑制層と、拡散抑制層の上に形成されたp型窒化ガリウム系半導体よりなる第2のクラッド層とを備えている。

【0019】第2の半導体装置によると、活性層とp型窒化ガリウム系半導体よりなる第2のクラッド層との間に、n型窒化ガリウム系半導体よりなる拡散抑制層が形成されているため、第2のクラッド層に含まれるp型ドーパントが拡散抑制層にまで拡散してくると、p型ドーパントと該拡散抑制層中のn型ドーパントとがクーロン相互作用により電氣的に中性な原子対を形成するので、第2のクラッド層に含まれるp型ドーパントが活性層側に拡散しにくくなる。

【0020】第1又は第2の半導体装置において、拡散抑制層の膜厚が正孔の拡散長以下であることが好ましい。

【0021】第1又は第2の半導体装置において、拡散抑制層の膜厚が5nm以上且つ500nm以下であるこ

とが好ましい。

【0022】第1又は第2の半導体装置が、第2のクラッド層の上に形成されたp型窒化ガリウム系半導体よりなるコンタクト層と、該コンタクト層の上面に形成され、ガリウム原子を吸収するガリウム吸収層とをさらに備えていることが好ましい。

【0023】第1又は第2の半導体装置において、p型ドーパントがマグネシウムであり、n型ドーパントがシリコンであることが好ましい。

【0024】第1又は第2の半導体装置において、拡散抑制層がAl、Ga、N（但し、 $0 < x < 1$ とする。）よりなることが好ましい。

【0025】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）本発明に係る第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0026】図1（a）は本発明の第1の実施形態に係る半導体発光装置の断面構成を示し、図1（b）は比較用の半導体発光装置の断面構成を示している。まず、図1（a）及び（b）に示す半導体発光装置の製造方法を説明する。図1（a）及び（b）において、あらかじめ20 サファイア（結晶Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）よりなる基板10に対して有機溶剤を用いた超音波洗浄を行ない、続いて、有機金属気相成長（MOVPE）装置（図示せず）の反応炉内に設けられたサセプタ上に基板10を保持する。次に、反応炉内を真空排気した後、圧力が70 Torrの水素雰囲気において基板10を約1100℃で15分間加熱することにより基板表面の熱クリーニングを行なう。

【0027】続いて、反応炉を約500℃にまで降温した後、ガリウム源であるトリメチルガリウム（TMG）30 を流量が2 μmol/分で、窒素源であるアンモニアを流量が2.5 L/分で、キャリアガスである水素を流量が2 L/分でそれぞれ反応炉に導入して、基板10の上面に膜厚が30 nmのGaNよりなる低温バッファ層11を成長させる。

【0028】次に、反応炉を約1000℃にまで昇温した後、n型ドーパントであるSiを含むシランガス（SiH<sub>4</sub>）を新たに反応炉に導入して、低温バッファ層11の上面に膜厚が3 μmで不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型GaNよりなるn型コンタクト層12を成長させ、続いて、アルミニウム源であるトリメチルアルミニウム（TMA）を新たに反応炉に導入して、n型コンタクト層12の上面に膜厚が0.3 μmで不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるn型クラッド層13を成長させる。続いて、TMAの導入を止め、n型クラッド層13の上面に膜厚が0.1 μmのGaNよりなる第1の光ガイド層14を成長させる。

【0029】次に、反応炉を約800℃に降温した後、窒素をキャリアガスとし膜厚が3 nmのIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる量子井戸活性層15及び膜厚が0.1 μm

mのGaNよりなる第2の光ガイド層16を順次成長させる。

【0030】次に、再度反応炉を約1000℃にまで昇温し、p型ドーパントであるMgを含むCp<sub>2</sub>MgガスをMgの不純物濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となり、且つ、n型ドーパントであるSiを含むSiH<sub>4</sub>ガスをSiの不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となるように原料ガスに添加しながら、第2の光ガイド層16の上面に膜厚が20 nmのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる拡散抑制層17を成長させ、続いて、SiH<sub>4</sub>ガスの供給を止めて、拡散抑制層17の上面に膜厚が0.28 μmのp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp型クラッド層18を成長させる。ここで、図1（b）に示す半導体発光装置の場合は、拡散抑制層17を設けないのでp型クラッド層18の膜厚が0.3 μmとなる。

【0031】次に、p型クラッド層18の上面に膜厚が0.4 μmでMgの不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のp型GaNよりなるp型コンタクト層19を成長させ、続いて、成長したエピタキシャル基板に対して窒素雰囲気中で温度が700℃、1時間のアニール処理を行なってp型クラッド層18及びp型コンタクト層19を低抵抗化する。

【0032】次に、エピタキシャル基板の一部に対してドライエッチングを行なってn型コンタクト層12を露出させ、該露出面にTi/Auよりなるn側電極20を選択的に形成すると共に、p型コンタクト層19の上面に幅が10 μmでNi/Auよりなるストライプ形状のp側電極21を形成する。また、n型クラッド層13、第1の光ガイド層14、量子井戸活性層15、第2の光ガイド層16、拡散抑制層17、p型クラッド層18及びp型コンタクト層19に対してドライエッチングを行なって共振器を形成する。

【0033】以下、前記のように構成された半導体発光装置の特性を図面を参照しながら説明する。

【0034】図2（a）は本実施形態に係る半導体発光装置を2次イオン質量分析（SIMS）法を用いて測定したドーパントプロファイルを示し、図2（b）は比較用の半導体発光装置のドーパントプロファイルを示している。図2（a）に示すように、エピタキシャル基板の上面からの深さが0.7 μm～0.9 μmの間に位置する光ガイド層14、16及び量子井戸活性層15には、p型ドーパントのMgが拡散せず急峻なドーパントプロファイルを得られており、拡散抑制層17が有効に働いていることが分かる。一方、図2（b）に示すように拡散抑制層17を設けない場合には、光ガイド層14、16及び量子井戸活性層15が形成されている領域にまでp型ドーパントのMgが拡散していることが分かる。

【0035】さらに、p型クラッド層18及びp型コンタクト層19を低抵抗化するアニール処理の前に、p型コンタクト層19の上面にスパッタ法を用いて膜厚が8

0 nmの酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) よりなり、Ga原子を吸収するガリウム吸収層を堆積させた後、アニール処理を行なうと、図2(a)に示すドーパントプロファイルよりもさらに急峻なプロファイルを得ることができる。これは、 $\text{SiO}_2$  よりなるガリウム吸収層がアニール処理中にGa原子を吸収してp型コンタクト層19に多数の空孔を生じさせ、p型ドーパントであるMg原子が該空孔に捕縛されることにより活性層側に拡散しにくくなるためである。

【0036】図3(a)は本実施形態に係る半導体発光装置の発光スペクトル強度を表わし、図3(b)は比較用の半導体発光装置の発光スペクトルを表わしている。図3(a)は本実施形態に係る半導体発光装置に20 mAの直流電流を室温で注入して動作させた場合であって、量子井戸活性層15からの量子準位発光である420 nmのスペクトルのみが現われている。

【0037】一方、図3(b)に示す比較用の半導体発光装置の場合は、量子井戸活性層15からの量子準位発光である420 nmのスペクトルとMgの拡散により形成された準位である450 nmのスペクトルが重複して現われている。なお、注入する直流電流を2 mAと小さくすると、450 nmのスペクトルがより顕著となる。これは、注入されたキャリアが、波長が450 nmの低エネルギー側の発光準位で発光に寄与し、注入電流の増加と共に波長が420 nmの高エネルギー側の発光準位に遷移することに起因する。すなわち、拡散抑制層17を設けない場合には、量子井戸活性層15の量子準位発光に寄与しない無効電流が多く、色純度の低下及び発光効率の低下を招くことになる。

【0038】本実施形態に係る半導体発光装置の場合は、p型ドーパントの活性層側への拡散を抑制する拡散抑制層17を有しており、量子井戸活性層15にp型ドーパントであるMgが拡散しにくいいため、低電流から20 mAまで420 nmのスペクトルのみが観察され、注入されたキャリアが量子準位からの発光に有効に寄与していることが分かる。

【0039】また、本実施形態に係る半導体発光装置と比較用の半導体発光装置との各電流-電圧特性を比較した結果、拡散抑制層17を設けたことによる直列抵抗の増加はみられず、両発光装置とも直流電流20 mAの注入時に5 V程度の電圧を示した。これは、拡散抑制層17の膜厚が20 nm程度では、注入された正孔が比較的容易に活性層側に注入されることを意味し、該膜厚が5 nm~500 nm程度であれば、望ましくは10 nm~80 nm程度であれば、しきい値電圧の上昇を招くことなく波長が420 nmの青紫色光を得ることができる。

【0040】以上説明したように、本実施形態に係る半導体発光装置は、第2の光ガイド層16とp型クラッド層18との間にp型ドーパントであるMgの活性層側への拡散を抑制する拡散抑制層17を有しているため、発

光装置の直列抵抗を増加させることなく、色純度及び発光効率を大幅に向上させることができる。

【0041】また、拡散抑制層17に $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ を用いているため、 $\text{AlGaIn}$ は結晶格子の結合力がGa $\text{N}$ よりも大きいので、Mgの拡散をより効果的に抑制できる。

【0042】なお、本実施形態においては、p型ドーパントにマグネシウム(Mg)を用いたが、これに限らず、炭素(C)、亜鉛(Zn)及びベリリウム(Be)を用いてもよく、また、n型ドーパントにシリコン(Si)を用いたが、酸素(O)であってもよい。

【0043】また、基板にサファイア(結晶 $\text{Al}_2\text{O}_3$ )を用いたが、炭化ケイ素( $\text{SiC}$ )を用いてもよい。この場合は、炭化ケイ素が導電性を有するため、n側電極20を形成するためのエピタキシャル基板のエッチングが不要となり、基板10のp側電極21と反対側の面にn側電極20を形成できる。

【0044】(第2の実施形態)以下、本発明に係る第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0045】図4は本発明の第2の実施形態に係る半導体発光装置の断面構成を示し、図4において、図1(a)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0046】本実施形態の特徴は、量子井戸活性層15をn型クラッド層13とp型クラッド層18とよりなるp-n接合で挟まずに、n型クラッド層13に埋め込む構成とする。

【0047】まず、図4に示す半導体発光装置の製造方法を説明する。第1の実施形態と同様に、MOVPE法を用いてサファイアよりなる基板10の上に低温バッファ層11及びn型コンタクト層12を順次成長させた後、n型コンタクト層12の上面に膜厚が0.28  $\mu\text{m}$ で不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第1のn型クラッド層13Aを成長させる。

【0048】次に、第1のn型クラッド層13Aの上面に膜厚が0.1  $\mu\text{m}$ のGa $\text{N}$ よりなる第1の光ガイド層14、膜厚が3 nmの $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる量子井戸活性層15及び膜厚が0.1  $\mu\text{m}$ のGa $\text{N}$ よりなる第2の光ガイド層16を順次成長させる。続いて、第2の光ガイド層16の上面に第1のn型クラッド層13Aと同一の組成を有し、膜厚が20 nmの拡散抑制層としての第2のn型クラッド層13Bを成長させる。

【0049】次に、第2のn型クラッド層13Bの上面に膜厚が0.3  $\mu\text{m}$ のp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp型クラッド層18と、膜厚が0.4  $\mu\text{m}$ でMgの不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のp型Ga $\text{N}$ よりなるp型コンタクト層19を順次成長させる。続いて、p型コンタクト層19の上面にスパッタ法を用いて膜厚が80 nmの酸化シリコンよりなるガリウム吸収層22を堆積さ

せた後、アニール処理を行なって、p型クラッド層 1 8 及び p 型コンタクト層 1 9 を低抵抗化する。

【0050】次に、エピタキシャル基板の一部に対してドライエッチングを行なって n 型コンタクト層 1 2 を露出させ、該露出面に T i / A u よりなる n 側電極 2 0 を選択的に形成すると共に、ガリウム吸収層 2 2 を選択的に除去した後、p 型コンタクト層 1 9 の上面に幅が 1 0  $\mu$ m で N i / A u よりなるストライプ形状の p 側電極 2 1 を形成する。また、第 1 の n 型クラッド層 1 3 A、第 1 の光ガイド層 1 4、量子井戸活性層 1 5、第 2 の光ガイド層 1 6、第 2 の n 型クラッド層 1 3 B、p 型クラッド層 1 8 及び p 型コンタクト層 1 9 に対してドライエッチングを行なって共振器を形成する。

【0051】このように、本実施形態においては、p 型クラッド層 1 8 の成長時及びその後のアニール処理時において、第 2 の光ガイド層 1 6 の上面に既に第 2 の n 型クラッド層 1 3 B が形成されているため、p 型クラッド層 1 8 から量子井戸活性層 1 5 までの距離が大きくなると共に、p 型クラッド層 1 8 からの p 型ドーパントが第 2 の n 型クラッド層 1 3 B 中の n 型ドーパントとクーロ ン相互作用により電氣的に中性な原子対を形成するため、活性層側への拡散がより強く抑制されるようになる。

【0052】以下、前記のように構成された半導体発光装置の特性を図面を参照しながら説明する。

【0053】図 5 は本実施形態に係る半導体発光装置を S I M S 法を用いて測定したドーパントプロファイルを示している。図 5 に示すように、エピタキシャル基板の上面からの深さが 0 . 7 2  $\mu$ m ~ 0 . 9 2  $\mu$ m の間に位置する光ガイド層 1 4、1 6 及び量子井戸活性層 1 5 よりなる活性領域には、p 型ドーパントの M g が拡散せず急峻なドーパントプロファイルが得られており、第 2 の n 型クラッド層 1 3 B が拡散抑制層として有効に働いていることが分かる。

【0054】さらに、本実施形態に係る半導体発光装置は、直流電流の注入においても、低電流注入時から量子井戸活性層 1 5 の量子準位発光である 4 2 0 n m のスペクトルのみが観察されることから、注入されたキャリアが I n G a N よりなる量子井戸活性層 1 5 の量子準位発光にのみ寄与しており、また、電流-電圧特性においても、量子井戸活性層 1 5 を p - n 接合部ではなく、n 型クラッド層 1 3 A、1 3 B 中に埋め込んだことによる直列抵抗の著しい増加は確認されず、直流電流が 2 0 m A の場合に 6 V 程度の電圧値を示した。ここでも、第 2 の n 型クラッド層 1 3 B の膜厚が正孔の拡散長程度である 5 n m ~ 5 0 0 n m 程度、望ましくは 1 0 n m ~ 8 0 n m であれば、しきい値電圧の上昇を招くことなく波長が 4 2 0 n m の青紫色光を得ることができる。

【0055】以上説明したように、本実施形態に係る半導体発光装置は、n 型クラッド層中に活性領域を埋め込

むことにより、p 型クラッド層側から p 型ドーパントである M g の活性層側への拡散を抑制するため、急峻なドーパントプロファイルを容易に且つ確実に得ることができ、色純度及び発光効率が大幅に向上する。

【0056】また、p 型コンタクト層 1 9 の上面に G a 原子を吸収するガリウム吸収層 2 2 を有しているため、G a 原子の空孔に M g が捕縛されることにより、M g の活性層側への拡散が一層抑制される。

【0057】また、拡散抑制層となる第 2 の n 型クラッド層 1 3 B が A l、G a、N よりなるため、A l G a N は結晶格子の結合力が G a N よりも大きいので、M g の拡散をより効果的に抑制できることになる。

【0058】なお、本実施形態においても、p 型ドーパントにマグネシウム ( M g ) を用いたが、これに限らず、炭素 ( C )、亜鉛 ( Z n ) 及びベリリウム ( B e ) を用いてもよく、また、n 型ドーパントにシリコン ( S i ) を用いたが、酸素 ( O ) であってもよい。

【0059】また、基板にサファイア (結晶 A l、O、) を用いたが、炭化ケイ素 ( S i C ) を用いてもよい。

【0060】また、第 1 及び第 2 の実施形態に示した p 型ドーパントの拡散抑制方法は、G a N 系半導体における p - n 接合の優れた界面制御を容易に行なえるため、発光装置のみならず、他の電子デバイスにも適用できる。

【0061】

【発明の効果】本発明に係る半導体の製造方法によると、p 型ドーパントと n 型ドーパントとがコドープされた第 2 の半導体層において、p 型ドーパントと n 型ドーパントとが電氣的に中性な原子対を形成するため、第 3 の半導体層に含まれる p 型ドーパントの拡散を抑制するので、結晶中の p 型ドーパントの分布が急峻となり、第 1 の半導体層が n 型の場合には界面制御に優れた p - n 接合を形成できる。

【0062】本発明の半導体の製造方法において、第 2 の半導体層の膜厚が 5 n m 以上且つ 5 0 0 n m 以下であると、第 1 の半導体層と第 3 の半導体層との直列抵抗値を増大させることなく p 型ドーパントの第 1 の半導体層側への拡散を確実に抑制できる。

【0063】本発明の半導体の製造方法が、第 3 の半導体層の上にガリウム原子を吸収する第 4 の半導体層を形成する工程と、第 4 の半導体層に対して熱処理を行なう工程とをさらに備えていると、第 3 の半導体層のガリウム原子が第 4 の半導体層に吸収されて形成された空孔に p 型ドーパントが捕縛されるため、p 型ドーパントの第 1 の半導体層側への拡散をさらに抑制できる。

【0064】本発明に係る第 1 の半導体装置によると、p 型ドーパントと n 型ドーパントとがコドープされた拡散抑制層において、該 p 型ドーパントと該 n 型ドーパントとが電氣的に中性な原子対を形成するため、第 2 のク

ラッド層に含まれる p 型ドーパントの拡散を抑制するので、結晶中の p 型ドーパントの分布が急峻となり、第 1 のクラッド層と第 2 のクラッド層とが界面制御に優れた p-n 接合を形成する。

【0065】本発明に係る第 2 の半導体装置によると、n 型の拡散抑制層において、第 2 のクラッド層からの p 型ドーパントと該拡散抑制層中の n 型ドーパントとが電氣的に中性な原子対を形成し、該拡散抑制層が p 型ドーパントの活性層側への拡散を抑制するため、結晶中の p 型ドーパントの分布が急峻となり、第 1 のクラッド層と第 2 のクラッド層とが界面制御に優れた p-n 接合を形成する。

【0066】第 2 の半導体装置において、拡散抑制層の膜厚が正孔の拡散長以下であると、正孔の注入が妨げられることなく、p 型ドーパントの拡散を確実に抑制できる。

【0067】第 1 又は第 2 の半導体装置において、拡散抑制層の膜厚が 5 nm 以上且つ 500 nm 以下であると、正孔の注入が妨げられることなく、すなわち、しきい値電圧が増大することなく p 型ドーパントの拡散を確実に抑制できる。

【0068】第 1 又は第 2 の半導体装置が、第 2 のクラッド層の上に形成された p 型窒化ガリウム系半導体よりなるコンタクト層と、該コンタクト層の上面に形成され、ガリウム原子を吸収するガリウム吸収層とをさらに備えていると、第 2 のクラッド層のガリウム原子がガリウム吸収層に吸収されて形成された空孔に p 型ドーパントが捕縛されるため、p 型ドーパントの活性層側への拡散をさらに抑制できる。

【0069】第 1 又は第 2 の半導体装置において、p 型ドーパントがマグネシウムであり、n 型ドーパントがシリコンであると、窒化ガリウム系半導体において界面制御に優れた p-n 接合を確実に形成できる。

【0070】第 1 又は第 2 の半導体装置において、拡散抑制層が  $Al_xGa_{1-x}N$  (但し、 $0 < x < 1$  とする。) よりなると、 $Al_xGa_{1-x}N$  は結晶格子の結合力が GaN よりも大きいので、p 型ドーパントの拡散を

より効果的に抑制できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】(a) は本発明の第 1 の実施形態に係る GaN 系半導体発光装置を示す構成断面図である。(b) は拡散抑制層を設けない比較用の GaN 系半導体発光装置を示す構成断面図である。

【図 2】(a) は本発明の第 1 の実施形態に係る GaN 系半導体発光装置のドーパントプロファイルを表わすグラフである。(b) は拡散抑制層を設けない比較用の GaN 系半導体発光装置のドーパントプロファイルを表わすグラフである。

【図 3】(a) は本発明の第 1 の実施形態に係る GaN 系半導体発光装置の発光スペクトル強度を表わすグラフである。(b) は拡散抑制層を設けない比較用の GaN 系半導体発光装置の発光スペクトル強度を表わすグラフである。

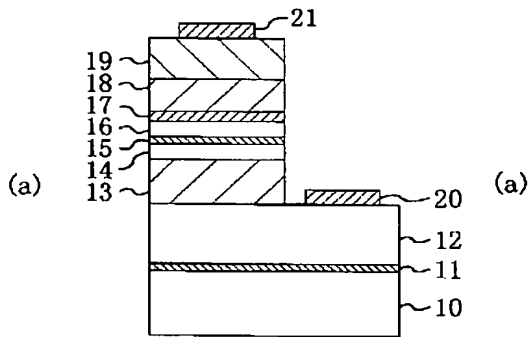
【図 4】本発明の第 2 の実施形態に係る GaN 系半導体発光装置を示す構成断面図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施形態に係る GaN 系半導体発光装置のドーパントプロファイルを表わすグラフである。

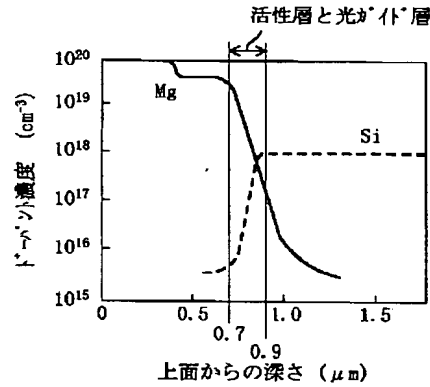
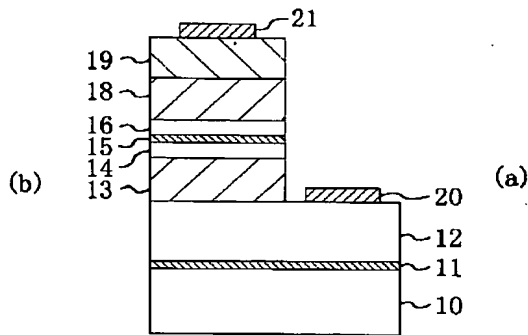
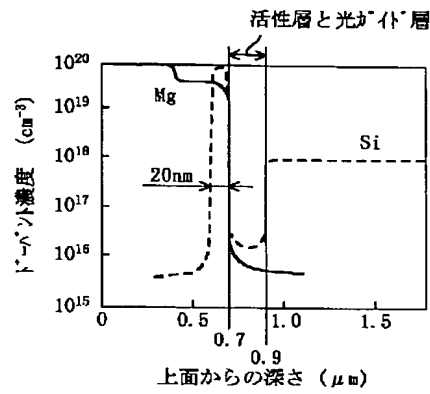
#### 【符号の説明】

- 10 基板
- 11 低温バッファ層
- 12 n 型コンタクト層
- 13 n 型クラッド層 (第 1 のクラッド層)
- 13A 第 1 の n 型クラッド層
- 13B 第 2 の n 型クラッド層 (拡散抑制層)
- 14 第 1 の光ガイド層
- 15 量子井戸活性層
- 16 第 2 の光ガイド層
- 17 拡散抑制層
- 18 p 型クラッド層 (第 2 のクラッド層)
- 19 p 型コンタクト層
- 20 n 側電極
- 21 p 側電極
- 22 ガリウム吸収層

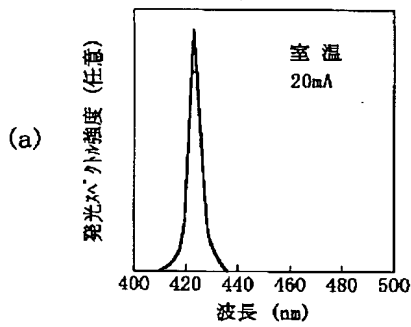
【図 1】



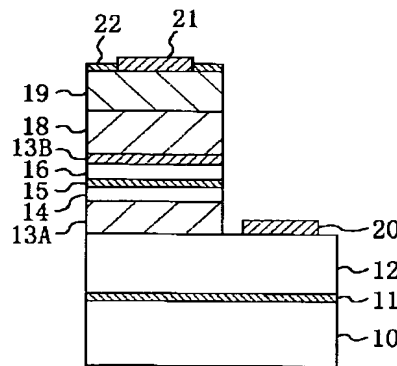
【図 2】



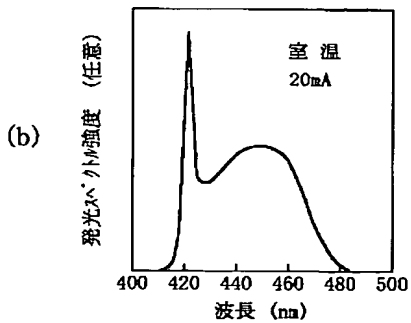
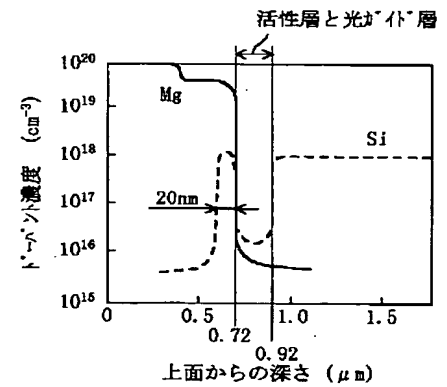
【図 3】



【図 4】



【図 5】





## フロントページの続き

(72)発明者 木戸口 勲  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72)発明者 宮永 良子  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 上山 智  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72)発明者 桑 雅博  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72)発明者 伴 雄三郎  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内